



## Bocadito con alto contenido proteico: un extruido a partir de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) y camote (*Ipomoea batatas* L.)

High-protein snack: an extruded from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet), and sweet potato (*Ipomoea batatas* L.)

**Katherine Pérez Ramos\***; **Carlos Elías Peñafiel**; **Víctor Delgado Soriano**

Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Industrias Alimentarias, Av. La Molina s/n, Lima - Peru.

Received June 15, 2017. Accepted November 13, 2017.

### Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo la elaboración de un bocadito extruido de elevado tenor proteico, a partir de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) y fécula de camote (*Ipomoea batatas* L.). Para su formulación se aplicó el método de diseño de mezclas usando la herramienta computacional - estadística Design Expert® versión 7.0, siendo las variables independientes las harinas de quinua, tarwi y fécula de camote; y las variables dependientes el contenido de proteína, índice de expansión, densidad aparente y dureza de los extruidos. La formulación óptima se determinó aplicando la prueba de deseabilidad basada en los modelos de regresión ajustado, dicha formulación se obtuvo maximizando el contenido de proteína e índice de expansión; y minimizando la dureza y densidad aparente de los extruidos. La formulación óptima tuvo un porcentaje de quinua, tarwi y fécula de camote de 57%, 26% y 17 % respectivamente. El análisis fisicoquímico de la fórmula óptima dio como resultado 20,16% de proteína, 2,19 de índice de expansión, 0,220 g/cm<sup>3</sup> densidad aparente y 9,31 N de dureza. La calidad proteica de la formulación óptima fue determinada mediante los ensayos de digestibilidad verdadera y valor biológico verdadero en ratas, obteniéndose 83,5% y 62,9% respectivamente.

**Palabras clave:** diseño de mezclas; quinua; tarwi; fécula de camote; extrusión.

### Abstract

The aim of this research was to elaborate a high-protein extruded snack from quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) and sweet potato starch (*Ipomoea batatas* L.). For its formulation, the mixture design method was applied using Design Expert® 7.0 software. Quinoa, tarwi and sweet potato starch were the independent variables and the dependent variables were the protein content, expansion index, bulk density and hardness of the extrudates. The optimal formulation was determined by applying the test of desirability based on adjusted regression models, this formulation was obtained by maximizing the protein content and expansion index, and minimizing the hardness and bulk density of the extrudates. The optimal formulation was obtained from a mixture of quinoa, tarwi and sweet potato starch of 57%, 26%, and 17% respectively. Physicochemical analysis of the optimal formula resulted in 20.16% protein, 2.19 expansion index, 0.220 g/cm<sup>3</sup> bulk density and 9.31 N hardness. The protein quality of the optimal formulation was determined by the assays of true protein digestibility and true biological value in rats, obtaining 83.5% and 62.9%, respectively.

**Keywords:** mixture design; quinoa; tarwi; sweet potato starch; extrusion.

### 1. Introducción

Los *snacks* o bocaditos suelen ser tildados como productos no saludables ya que se

caracterizan por presentar altas cantidades de azúcar, grasa, sal, colorantes, saborizantes y ser bajos en nutrientes; contribuyendo

\* Corresponding author  
E-mail: 20101493@lamolina.edu.pe (K. Pérez).

de esta manera, con el incremento de los problemas de salud en los consumidores. En estudios previos, los consumidores conscientes de las consecuencias que producen el consumo de bocaditos no saludables, expresaron su preferencia hacia bocaditos que presenten los siguientes atributos: ingredientes naturales, libres de colorantes y sabores artificiales, libre de organismos genéticamente modificados; bajos en sodio, azúcar, grasa, calorías; altos en proteína, fibra y con granos enteros (The Nielsen Company, 2014).

El desarrollo de nuevos productos con dichas características requiere del uso de tecnologías en el procesamiento de alimentos. Una tecnología utilizada en el desarrollo de bocaditos es la cocción por extrusión, que tiene los beneficios de desnaturalizar las enzimas indeseables, inactivar algunos factores antinutricionales (inhibidores de tripsina, hemaglutininas, taninos y fitatos), mejorar la digestibilidad del almidón y de las proteínas, esterilizar el producto terminado y conservar los colores y sabores naturales de los alimentos (Singh *et al.*, 2007). Además, la extrusión es una tecnología que permite crear nuevos productos utilizando ingredientes tradicionales y novedosos para la fabricación de bocaditos saludables.

Los cereales son las materias primas más utilizadas en la elaboración de alimentos extruidos, principalmente debido a las propiedades funcionales, bajo costo y disponibilidad. Sin embargo, se pueden utilizar de manera efectiva, leguminosas y semillas oleaginosas debido al alto contenido de proteína para obtener una mejora nutricional de los aperitivos extruidos a base de cereales (Deshpande y Poshadri, 2011). En el estudio realizado por Ramos *et al.* (2017) se demostró que es posible producir extruidos a base de maíz que contienen hasta 50% de kañiwa o como máximo 20% de lupino manteniendo un alto valor de índice de expansión y mejorando su valor nutricional. El tarwi es una leguminosa de alto valor nutritivo, puede alcanzar hasta un 50% de proteína en el grano y presenta mayor contenido de triptófano y tirosina frente a

otras leguminosas como la soya y el frijol (Camarena *et al.*, 2012). Si bien el contenido de proteínas es alto en los granos de tarwi, al ser una leguminosa, presenta deficiencia en aminoácidos azufrados. Sin embargo, al mezclarse con cereales ofrecen ventajas en la calidad nutricional debido a la complementación de aminoácidos (Oliveira *et al.*, 2015).

La quinua es un grano andino que presenta un alto contenido en proteínas (alrededor del 15%), las cuales son principalmente albúminas y globulinas. Su balance de aminoácidos esenciales es excelente debido a un espectro de aminoácidos más amplio que en los cereales y leguminosas. Por ello, las proteínas de la quinua son capaces de complementar las proteínas de cereales o leguminosas (Abugoch *et al.*, 2008).

Las raíces de camote o batata dulce están compuestas principalmente por carbohidratos, siendo la mayor parte almidón ya que representa hasta aproximadamente el 80% de la materia seca (Wang *et al.*, 2016). Las características funcionales del almidón contribuyen en gran medida a diversas aplicaciones, incluyendo espesantes, gelificantes, estabilizantes, aglutinantes y agentes de retención de la humedad (Srichuwong y Jane, 2007).

Con el fin de obtener un extruido con buena expansión y valor nutricional, Coutinho *et al.* (2013) elaboraron bocaditos extruidos a partir de una mezcla de granos de arroz partidos, salvado de arroz y pulpa de soya negra (81:9:10). Se utilizaron el arroz y la soya debido al mayor contenido de proteína y el mejor perfil de aminoácidos esenciales de estos en relación con el maíz; sin embargo, el contenido de proteína solo alcanzó el 10,5%. Asimismo, Rehal *et al.* (2017) encontraron que el contenido de proteína de bocaditos extruidos comerciales se encontraba en el rango de 2,8 a 9,2%.

Esta investigación tiene como objetivo la elaboración de un bocadito extruido de elevado contenido proteico utilizando en su composición quinua, tarwi y fécula de camote, cuya formulación óptima será obtenida mediante el diseño de mezclas.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Materia prima

Se utilizó quinua blanca escarificada de la marca comercial El Plebeyo, tarwi procedente de Huancayo que fue adquirido en el mercado Huamantanga ubicado en el distrito de Puente Piedra – Lima, y fécula de camote de la marca comercial CoproAgro. Para humectar las mezclas se utilizó agua de mesa marca Cielo AJE®

### 2.2. Métodos de análisis

#### Análisis químico proximal

El análisis químico proximal se realizó por triplicado a las materias primas y al bocadito extruido de formulación óptima. La determinación del contenido de proteínas se realizó por triplicado a las 16 formulaciones obtenidas del diseño de mezclas.

Humedad: se realizó mediante el secado de las muestras en una estufa a 105 °C hasta alcanzar un peso constante, según AOAC 950.46 (AOAC, 2005).

Proteína total: se realizó por el método Kjeldahl, la mezcla resultante de la digestión se neutralizó con hidróxido de sodio y se destiló. El destilado se recogió en una solución de ácido bórico, para ser luego titulado y determinar el nitrógeno contenido en la muestra. El contenido de proteína se calculó utilizando 6,25 como factor de conversión, AOAC 984.13 (AOAC, 2005).

Grasa total o extracto etéreo: por extracción con éter de petróleo en Soxhlet, AOAC 2003.05 (AOAC, 2005).

Fibra cruda: La fibra cruda se expresó como la pérdida de masa que se pierde en la incineración del residuo seco, obtenido después de la digestión con soluciones de HSO<sub>4</sub> e NaOH al 1,25 %, AOAC 962.09 (AOAC, 2005).

Cenizas: por incineración en mufla a 550 °C, AOAC 942.05.05 (AOAC, 2005).

Carbohidratos (extracto libre de nitrógeno) por diferencia.

#### Índice de expansión

Se define como la relación entre el área de la sección transversal del producto extruido y la matriz (Mäkilä *et al.*, 2014). Las mediciones se realizaron utilizando un

calibrador Vernier Digital de acero inoxidable Control Company Traceable®, y el valor del índice de expansión fue calculado de un promedio de 20 observaciones por formulación.

#### Densidad aparente

La densidad aparente de los extruidos se determinó usando el método de desplazamiento de semillas. Se utilizaron semillas de kiwicha, las cuales fueron vertidas en una probeta graduada de 250 ml. La probeta fue sacudida suavemente 20 veces para acomodar las semillas y evitar espacios vacíos. El peso de cada muestra se pesó con una balanza de precisión OHAUS® Adventurer™. La densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>) se calculó dividiendo el peso de los extruidos por el volumen desplazado (Yang *et al.*, 2008). La determinación de la densidad aparente se realizó por triplicado a las 16 formulaciones.

#### Dureza

La resistencia mecánica de material extruido fue medida haciendo uso del texturómetro Instron® modelo 3365 Software Bluehill 3. Se utilizó un cabezal de punción de 4 mm de diámetro para penetrar la muestra a una deformación de 10 mm, con una velocidad de carga de 60 mm/min y precarga de 10 gf. La determinación de la dureza se realizó por triplicado a las 16 formulaciones

#### Valor biológico verdadero y digestibilidad verdadera

Los ensayos de valor biológico verdadero y digestibilidad verdadera se realizaron a la formulación óptima obtenida. Para los ensayos se utilizaron 12 ratas macho raza Holtzman provenientes de camadas distintas y de 25 días de nacidas. Las ratas fueron colocadas en jaulas metabólicas individuales con sus respectivos comederos y bebederos. A un grupo de seis ratas se le ofreció la dieta experimental y al otro grupo la dieta aprotéica. Las dietas fueron elaboradas de acuerdo con la fórmula AIN-93 establecida por Reeves *et al.* (1993) para ratas en crecimiento, con un contenido de proteína del 10%.

La duración del ensayo fue de 10 días, durante los cuatro primeros días de acostumbramiento se registró el consumo diario de alimento y el peso de cada rata. Finalizado el periodo de acostumbramiento, se acondicionaron las jaulas metabólicas con sus respectivos embudos colectores de heces y tubos de ensayo para recolectar la orina. En cada tubo se agregó cuatro gotas de tolueno para conservar el nitrógeno urinario. Además, se colocaron hojas de papel debajo de cada jaula para recolectar y posteriormente cuantificar el desperdicio de alimento. Finalmente se suministró la dieta experimental y apteica combinada con 10 mg de colorante carmín, que sirvió como indicador para el inicio del experimento. Durante los seis días de evaluación se registró el peso de cada rata, el peso de la ración servida, del residuo y del desperdicio. Asimismo, se cuantificó la cantidad de orina y heces; y fueron almacenadas con 100 mg de timol y en refrigeración con el fin de conservar el nitrógeno fecal.

La cantidad del nitrógeno de las dietas, así como el nitrógeno fecal y urinario se determinó mediante el método Kjeldahl. Con los datos obtenidos se calculó la digestibilidad verdadera y el valor biológico verdadero con las siguientes fórmulas:

$$\text{Digestibilidad proteica verdadera (\%)} = \frac{I - (F - F_k) \times 100}{I}$$

Donde *I*: ingesta de nitrógeno, *F*: pérdida de nitrógeno fecal en la dieta de prueba, *F<sub>k</sub>*: pérdida de nitrógeno fecal en la dieta libre de proteína.

$$\text{Valor biológico verdadero (\%)} = \frac{I - (F - F_k) - (U - U_k) \times 100}{I - (F - F_k)}$$

Donde *U*: pérdida de nitrógeno urinario en la dieta de prueba, *U<sub>k</sub>*: pérdida de nitrógeno urinario en la dieta libre de proteína.

### 2.3. Metodología experimental

#### Preparación de las materias primas

Los granos de quinua fueron molidos en un molino de martillos MV 35-45 marca Vulcano, luego se tamizó utilizando un tamiz N° 20 W.S. Tyler® para evitar que pasen granos enteros. Finalmente la harina obtenida se envasó al vacío usando una

envasadora al vacío Boxer 42 Henkelman® y bolsas de nylon. La harina de quinua se almacenó a temperatura ambiente.

Los granos de tarwi pasaron por un proceso de selección y limpieza manual para seleccionar los granos sanos y enteros de los granos dañados, y eliminar las piedras, paja e impurezas. Se realizó el desamargado adaptando la metodología descrita por Gutiérrez *et al.* (2006). Una vez desamargados, los granos se secaron en un secador de bandejas a 60 °C por 24 h. Los granos secos, fueron molidos en un molino de martillos MV 35-45 Vulcano, luego se tamizó utilizando un tamiz N° 20 W.S. Tyler®. Finalmente, la harina de tarwi se envasó al vacío usando una envasadora Boxer 42 Henkelman® y bolsas de nylon con el fin de evitar la oxidación de la grasa presente en el tarwi. La harina obtenida se almacenó a temperatura ambiente.

#### Obtención de las formulaciones y elaboración de los extruidos

Para evaluar el efecto de simultáneo de la harina de quinua, harina de tarwi y fécula de camote (variables independientes) sobre el contenido de proteína, índice de expansión, densidad aparente y dureza (variables dependientes) de los bocaditos extruidos. Se aplicó el diseño D-óptimo del diseño de mezclas mediante el uso del software estadístico Design Expert 7.0, empleando restricciones que fueron establecidas mediante pruebas preliminares. Las restricciones de los componentes fueron los siguientes: Fécula de camote 0-17%, harina de tarwi 16-26% y harina de quinua 57-84%.

El diseño de mezclas estuvo conformado por 16 formulaciones las cuales fueron humectadas hasta alcanzar una humedad de 15%. Las formulaciones se envasaron en bolsas de polietileno con cierre hermético y se almacenaron por 24 h en refrigeración (5 °C) antes de la extrusión.

Las 16 formulaciones fueron extruidas en un extrusor de doble tornillo marca LABOR PQ DRX-50 en el que se trabajó a una velocidad de 800 RPM, velocidad de alimentación de 22 Hz, velocidad de cortador de 4 Hz, temperaturas de 30, 40, 50, 70, 90, 120 y 150 °C (a lo largo de las

secciones del extrusor). El dado utilizado fue de forma rectangular de dimensiones 0,098 x 0,787 pulg. Los bocaditos extruidos se secaron en un secador de bandejas a 50 °C por 18 horas para reducir la humedad. Los bocaditos extruidos se envasaron en bolsas de aluminio con cierre hermético y se almacenaron a temperatura ambiente.

### Evaluación de las formulaciones

A cada formulación se le realizó el análisis de contenido de proteína, índice de expansión, densidad aparente y dureza. Los resultados se expresaron como el promedio de las observaciones registradas por cada formulación y fueron introducidos en el programa Design-Expert® para obtener el modelo matemático y análisis estadístico para cada variable respuesta.

El análisis estadístico se realizó utilizando el software Design Expert 7.0. Con los datos obtenidos para cada respuesta, se realizó un análisis de regresión múltiple con la finalidad de obtener el polinomio canónico de Scheffé que describa la dependencia de cada respuesta en función de las proporciones de las materias primas. La significancia estadística de los términos en la ecuación de regresión se examinó mediante el Análisis de Varianza (ANVA) a un nivel de significación  $\alpha = 0,05$ .

### Determinación de la mezcla óptima

Para obtener la formulación óptima se maximizaron las respuestas correspondientes al contenido de proteína e índice de expansión y se minimizaron las respuestas correspondientes a la densidad y dureza. La optimización simultánea se realizó utilizando el programa Design Expert® 7.0.

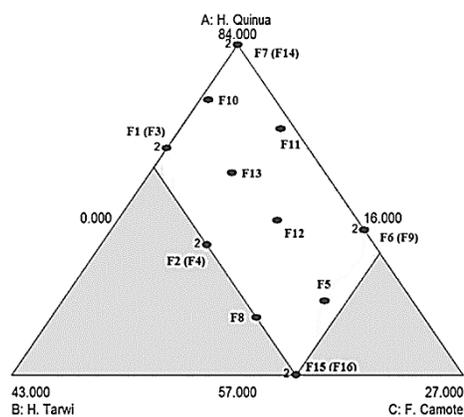
### Caracterización y evaluación de la calidad proteica a la formulación óptima

La formulación óptima fue caracterizada respecto a su composición química proximal, índice de expansión, densidad aparente y dureza. También, se le realizaron los ensayos de valor biológico verdadero y digestibilidad verdadera para evaluar la calidad proteica. El diseño estuvo compuesto por 16 mezclas (Figura 1).

## 3. Resultados y discusión

### 3.1 Composición química proximal de las materias primas

Los resultados del análisis químico proximal de las materias primas se presentan en la Tabla 1. Los granos de tarwi sin desamargar presentaron un contenido de proteína de 43,54 %, valor que se encuentra dentro de los reportados por Quispe (2015), en cuya investigación encontró que los genotipos de *Lupinus mutabilis* presentaron entre 41 a 47 % de proteína cruda.



**Figura 1.** Representación gráfica del diseño de mezclas con restricciones sobre los niveles de harina de quinua, tarwi y fécula de camote.

Por otra parte, el contenido de proteína de la harina de tarwi desamargado aumentó respecto al tarwi crudo, siendo 56,66 %. Este valor fue mayor a lo reportado por Quispe (2015) en los genotipos de *Lupinus mutabilis* donde los valores encontrados estuvieron entre 43 y 53 %. Carvajal-Larenas *et al.* (2016), mencionan que durante el proceso de desamargado acuoso se pierde materia seca soluble en el agua de procesamiento, lo cual da lugar a aumentos aparentes en el contenido de proteína por la lixiviación de los carbohidratos solubles y minerales. Por tal razón, se observa en la Tabla 1 que el porcentaje de carbohidratos disminuye en el tarwi desamargado. Asimismo, Carvajal-Larenas *et al.* (2014) señalan que la pérdida de proteínas se reduce debido a la coagulación de estas durante la cocción en el proceso de desamargado.

El valor promedio de proteína en la quinua es cercano a lo señalado en las Tablas peruanas de composición de alimentos (Reyes *et al.*, 2009) para la quinua blanca de Junín donde se indica 12,2 % de proteína; mientras que para la quinua blanca de Puno el valor es 13,3 %. El contenido de humedad, fibra cruda y grasa para la quinua blanca de Junín es 11,8 %, 5,7 % y 6,2 % respectivamente; y para la quinua blanca de Puno 11,1 %, 5,1 % y 6,1 %. A pesar de que los valores obtenidos en la literatura citada provienen de quinua blanca, éstos varían con respecto a los valores encontrados en la composición químico proximal de la quinua utilizada en la investigación; dicha diferencia puede deberse al lugar de procedencia de la quinua.

El contenido de proteína y humedad de fécula de camote difiere de lo reportado por Abegunde *et al.* (2013), en cuya investiga-

ción realizada en almidones de once cultivares de camote, encontraron valores de 0,28 a 0,75 % de contenido proteico y de 3,86 a 6,52% para el contenido de humedad. Abegunde *et al.* (2013) menciona que la humedad recomendada para almidones comerciales debe estar debajo del 20%, y la variación en la humedad puede atribuirse al grado de secado de los almidones.

### 3.2 Efecto de los ingredientes en el contenido de proteína, índice de expansión, densidad aparente y dureza

#### Contenido de proteína

El contenido de proteína en las formulaciones de los bocaditos extruidos se encontró entre 17,33 y 21,86% (Tabla 2), siendo la formulación 3 la que presentó el mayor contenido y la formulación 6 presentó el menor contenido de proteína.

**Tabla 1**

Composición química proximal de tarwi sin desamargar, tarwi desamargado, quinua y fécula de camote

Componente (%) base húmeda	Tarwi sin desamargar	Tarwi desamargado	Quinua	Fécula de camote
Humedad	11,54 ± 0,117	3,90 ± 0,116	9,71 ± 0,312	12,49 ± 0,051
Ceniza	2,41 ± 0,358	2,56 ± 0,005	2,14 ± 0,026	0,13 ± 0,003
Grasa	17,20 ± 0,273	23,20 ± 0,096	4,98 ± 0,211	0,03 ± 0,000
Proteína total	43,54 ± 4,073	56,66 ± 2,945	10,88 ± 0,019	1,03 ± 0,034
Fibra cruda	7,78 ± 0,165	10,60 ± 0,015	2,44 ± 0,106	0,00 ± 0,000
Carbohidratos	17,54 ± 4,083	3,07 ± 2,762	69,86 ± 0,399	86,32 ± 0,047

**Tabla 2**

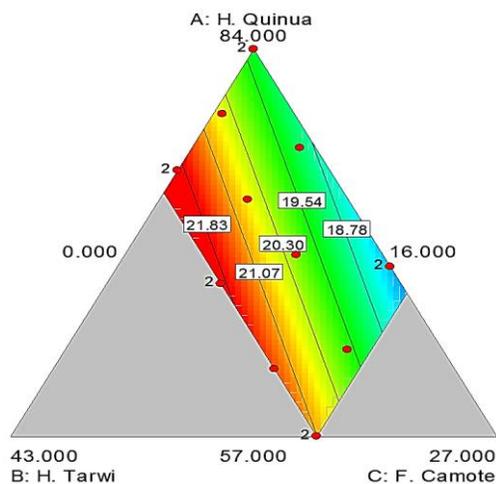
Resultados experimentales para el contenido de proteína, índice de expansión, densidad aparente y dureza de los bocaditos extruidos

Formulación	Harina de quinua (%)	Harina de tarwi (%)	Fécula de camote (%)	Contenido de proteína (%) b.h	Índice de expansión	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Dureza (N)
1	75,56	24,44	0,00	21,28	1,71	0,285	12,87
2	67,65	26,00	6,36	21,65	1,69	0,328	14,88
3	75,56	24,44	0,00	21,86	1,28	0,427	15,59
4	67,65	26,00	6,36	21,71	1,55	0,322	13,41
5	63,05	21,26	15,69	18,51	1,72	0,240	11,84
6	68,84	16,00	15,16	17,33	2,23	0,206	10,95
7	84,00	16,00	0,00	19,43	1,87	0,308	10,01
8	61,70	26,00	12,30	21,77	1,95	0,249	10,67
9	68,84	16,00	15,16	18,29	2,08	0,199	9,82
10	79,49	19,98	0,53	20,14	1,85	0,282	12,54
11	77,13	16,86	6,02	19,13	1,64	0,290	11,62
12	69,66	20,79	9,55	20,64	2,21	0,206	12,08
13	73,52	21,57	4,92	21,39	1,96	0,280	12,90
14	84,00	16,00	0,00	19,97	2,06	0,203	8,29
15	57,01	25,99	17,00	21,46	2,24	0,228	9,34
16	57,01	25,99	17,00	21,67	2,21	0,211	9,64

El incremento en el contenido de proteína fue influenciado principalmente por la participación de harina de tarwi en cada mezcla, seguido por la harina de quinua; debido a que son los componentes que aportan más proteína en las formulaciones. Esto se puede evidenciar al comparar las formulaciones 1 y 7, donde se observa que, a pesar de haber un incremento en la harina de quinua, al reducirse la proporción de harina de tarwi, el contenido de proteína en la formulación disminuye.

La influencia de la harina de tarwi también se puede demostrar comparando las formulaciones 4 y 8, donde se observa que si bien las proporciones de harina de quinua y fécula de camote varían entre formulaciones, los valores encontrados en el contenido de proteína son muy cercanos, ya que dichas formulaciones tienen la misma proporción de harina de tarwi en su composición.

El contenido de proteína presenta los valores más altos en el área correspondiente a la mayor proporción de harina de tarwi, la cual está representada por el área de color rojo (Figura 2). Esto se debe a que la harina de tarwi tiene la mayor influencia en el contenido de proteína entre los tres componentes que conforman las formulaciones.



**Figura 2.** Gráfico de contorno de la superficie de respuesta para el contenido de proteína de los bocaditos extruidos.

### Índice de expansión

La segunda variable respuesta estudiada fue el índice de expansión en los bocaditos

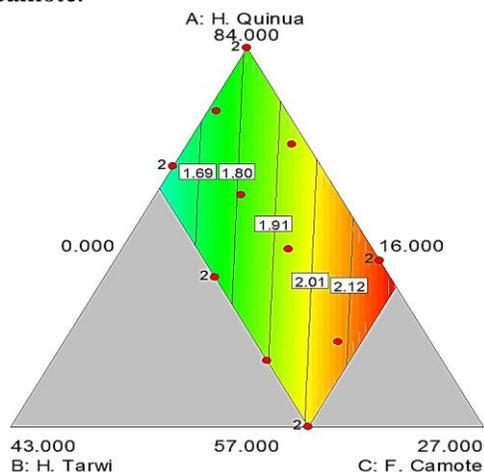
extruidos. Tal como se observa en la Tabla 2, los valores del índice de expansión estuvieron entre 1,28 a 2,24 para todos las formulaciones evaluados. Estos valores son bajos y se acercan a los valores encontrados por Kowalski *et al.* (2016) en extruidos de quinua. El autor menciona que los valores observados variaron de 1,19 a 1,67, y fueron bajos en comparación con otras harinas de uso común en el procesamiento por extrusión, como los extruidos de almidón de maíz comercial que presentan 4,0 de índice de expansión. El bajo índice de expansión se atribuyó al hecho de que la harina de quinua tenía mayores cantidades de proteína, fibra y grasa en comparación con otros cereales. Kowalski *et al.* (2016) menciona que la reducción de la expansión se da principalmente por la presencia de fibra insoluble que tiende a retener agua en la matriz de la fibra durante la cocción por extrusión, reduciendo así el vapor creado. A diferencia de los polímeros basados en almidón, las fibras inertes tienden a ser rígidas y pueden causar la ruptura de las paredes celulares y evitar que las burbujas de aire se expandan al nivel máximo (Obradović *et al.*, 2015).

La composición de las materias primas que conforman el bocadito extruido tiene gran influencia en sus características físico-químicas, por ejemplo en las formulaciones cuyo porcentaje de harina de tarwi es alto, el índice de expansión es menor en comparación con las formulaciones que presentan menor porcentaje de harina de tarwi. Shirani y Ganesharanee (2009), argumentan que las proteínas influyen en la expansión de los extruidos a través de su estructura macromolecular y su conformación, así como también, a través de su capacidad para afectar la distribución del agua en la matriz. Es decir, como resultado de la competencia por el agua disponible entre las fracciones de almidón y proteína, se conduciría a un retraso en la gelatinización del almidón, y por consiguiente a una menor expansión en los productos extruidos.

El índice de expansión aumenta con la participación de fécula de camote en la

mezcla. Esta relación se verifica al comparar las formulaciones 2 y 8, donde se observa que el porcentaje de harina de tarwi permanece constante, mientras que el porcentaje de harina de quinua disminuye y el de fécula de camote aumenta, produciéndose un incremento en el índice de expansión. Según Riaz y Rokey (2012), a medida que los niveles de almidón se incrementan en una formulación, el extruido resultante se expande más. El aumento de los niveles de almidón en una formulación también contribuye a la unión y durabilidad del producto extruido. Sin embargo, por encima del 65%, el almidón puede crear algunos desafíos durante la extrusión, ya que puede llegar a producir extruidos muy pegajosos.

A continuación, en la Figura 3 se muestran la gráfica de los contornos para el índice de expansión, donde se explica de manera gráfica lo expuesto anteriormente. A diferencia de la Figura 2, en la Figura 3 el área de color rojo se encuentra en la zona donde la concentración de fécula de camote es mayor, lo que indica que el índice de expansión es mayor cuando la mezcla tiene una mayor concentración de fécula de camote.



**Figura 3.** Gráfico de contorno de la superficie de respuesta para el índice de expansión de los bocaditos extruidos.

### Densidad aparente

Los valores observados de la densidad aparente estuvieron entre 0,199 y 0,427 g/cm<sup>3</sup>. Estos valores se acercan a los reportados

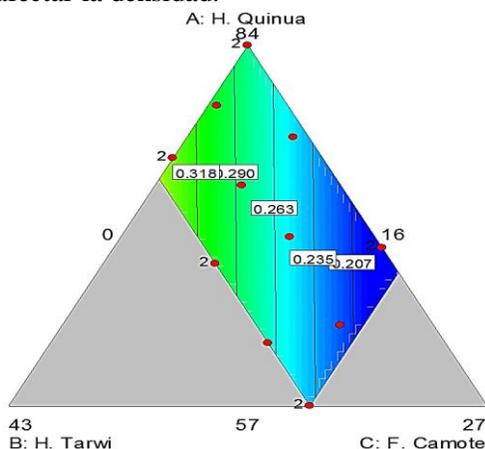
por Potter *et al.* (2013), en cuya investigación encontraron que en las formulaciones elaboradas con harinas de frutas, la densidad aparente fue significativamente alta (entre 0,209 y 0,311 g/cm<sup>3</sup>) a comparación del extruido control (0,05 g/cm<sup>3</sup>) que no contenía harina de frutas en su composición. El aumento de la densidad de los bocaditos extruidos puede ser atribuida a la presencia de azúcar y fibra soluble que absorben la humedad y afectan la expansión de los extruidos y, por consiguiente, la densidad; lo que significa que con un incremento en la expansión se produce la disminución de la densidad y viceversa.

A diferencia del índice de expansión, la densidad se vio incrementada en las formulaciones que presentaban mayor concentración de harina de tarwi en la mezcla; mientras que la densidad fue menor en las formulaciones con mayor porcentaje de fécula de camote. La influencia de la harina de tarwi en el aumento de la densidad aparente en los bocaditos extruidos puede deberse al alto contenido de fibra cruda que presenta el tarwi en comparación a los valores que presenta la quinua y la fécula de camote.

Ravindran *et al.* (2011) menciona que la densidad es un parámetro que es controlado por el grado de expansión, y es medido frecuentemente como propósito del control de calidad en productos extruidos. Las estructuras que presentan baja densidad se caracterizan por tener estructuras bien expandida que están conformadas por células grandes y paredes delgadas. Lo anterior explica el contraste entre la Figura 3 y la Figura 4, donde se observa que a mayor concentración de fécula de camote en la mezcla, la densidad es menor. Es decir, existe una relación inversamente proporcional entre la fécula de camote y la densidad; sin embargo con el índice de expansión ocurre lo contrario.

Rehal *et al.* (2017) evaluaron bocaditos extruidos comerciales, y encontraron que en algunos de ellos la densidad aparente no fue mayor a pesar de tener alto contenido de proteína. Este comportamiento fue atribuido a que la proteína no se incorporó en la

pre-mezcla, sino que se revistió sobre el producto extruido; es decir, la proteína recubierta no tuvo ningún papel en la alteración de la gelatinización del almidón o la estructura de la proteína. Por lo tanto, el uso del componente proteico como revestimiento ofrece una alternativa para obtener un producto extruido alto en proteína sin afectar la densidad.



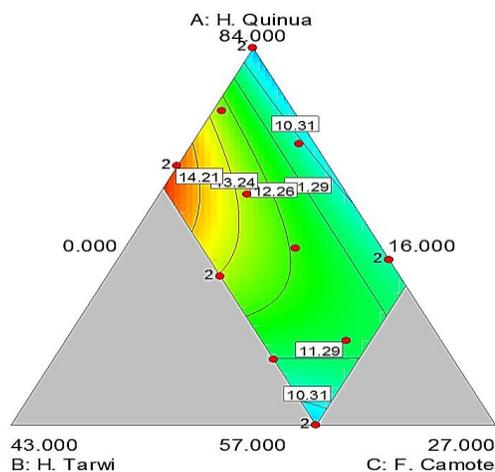
**Figura 4.** Gráfico de contorno de la superficie de respuesta para la densidad aparente de los bocaditos extruidos.

### Dureza

Los valores se encontraron entre 8,29 y 15,59 N. Los valores más bajos de dureza pertenecieron a las formulaciones en las que la proporción de harina de tarwi fue menor; no obstante las formulaciones 15 y 16 también presentaron valores bajos de dureza pese a presentar una alta proporción de harina de tarwi. Los bajos valores de la dureza en estas formulaciones pueden haberse dado porque la proporción de fécula de camote fue mayor en comparación con las demás formulaciones.

Oliveira *et al.* (2015), encontraron una relación negativa entre el índice de expansión y dureza de los extruidos de arroz y lupino; donde las muestras que presentaban mayor proporción de lupino se caracterizaban por presentar menos expansión y mayor dureza. Según se señala en la investigación, estas características son causadas por el incremento en el contenido de proteína y la reducción de del contenido de almidón al añadir lupino en las mezclas, lo cual explica que los extruidos con mayor

contenido de harina de tarwi presentaran mayor dureza. A mayor proporción de tarwi en la formulación, la dureza del producto extruido aumenta y a mayor proporción de fécula de camote y harina de quinua, la dureza disminuye (Figura 5).



**Figura 5.** Gráfico de contorno de la superficie de respuesta para la dureza aparente de los bocaditos extruidos.

La prueba F indica que los modelos lineales son significativos para el contenido de proteína, densidad e índice de expansión; mientras que para la dureza el modelo cuadrático fue significativo ( $p < 0,05$ ); sin embargo, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y el coeficiente de determinación ajustado ( $R^2_{adj}$ ) fueron bajos para el índice de expansión y densidad.

### 3.3 Optimización simultánea

La optimización se realizó por superposición de las gráficas de contorno que cumplieran con las restricciones impuestas, de esta manera se obtuvieron tres soluciones (Tabla 4), con sus respectivas composiciones y características. La zona de formulación factible fue definida por la intersección de los contornos, como se muestra en la Figura 6, donde se encuentran las soluciones de la Tabla 4. La formulación 1 fue seleccionada como óptima, debido a que su valor de deseabilidad fue mayor, además de presentar el mayor contenido proteico y menor dureza, que fueron las características buscadas en el bocadito extruido.

**Tabla 3**

Análisis de varianza y prueba de significancia para los coeficientes del modelo de regresión para el contenido de proteína, índice de expansión, densidad y dureza del bocadito extruido

	Término del modelo	Coefficiente estimado	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor F	P value	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>
Contenido de proteína	Lineal	$x_1 = 0,143$	27,48	2	13,74	37,84	< 0,0001	0,8534	0,8309
		$x_2 = 0,458$							
		$x_3 = 0,061$							
Índice de expansión	Lineal	$x_1 = 0,022$	0,49	2	0,25	4,75	0,0283	0,4221	0,3332
		$x_2 = - 0,0004$							
		$x_3 = 0,047$							
Densidad aparente	Lineal	$x_1 = 0,0018$	0,032	2	0,016	8,23	0,0049	0,5588	0,4909
		$x_2 = 0,0082$							
		$x_3 = - 0,0045$							
Dureza	Cuadrático	$x_1 = - 0,172$	49,52	3	16,51	16,85	0,0001	0,8081	0,7602
		$x_2 = - 1,964$							
		$x_3 = 0,573$							
		$x_1 x_2 = 0,041$	25,66	1	25,66	26,20	0,0003		

**Tabla 4**

Mezclas obtenidas tras la optimización simultánea de respuestas

	Composición			Característica				Deseabilidad
	Harina de Quinoa	Harina de Tarwi	Fécula de Camote	Proteínas	Índice de Expansión	Densidad	Dureza	
1	57,00	26,00	17,00	21,08	2,02	0,239	9,74	0,565
2	63,75	22,49	13,76	20,23	2,02	0,236	11,64	0,163
3	79,30	18,71	1,99	20,00	1,80	0,285	11,69	0,004

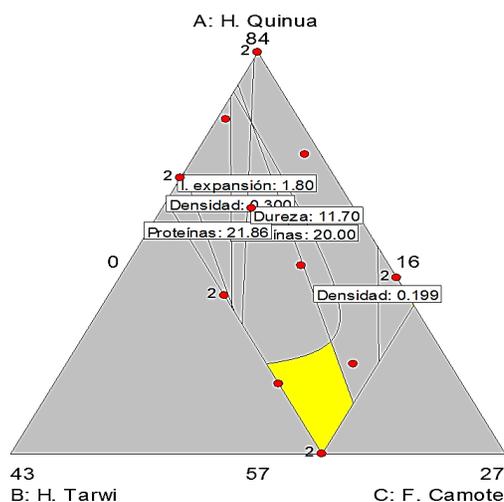
### 3.4 Caracterización de la fórmula óptima

Se elaboró una muestra de bocaditos extruidos siguiendo la formulación óptima (57 % harina de quinua, 26 % harina de tarwi y 17 % fécula de camote). Esta formulación presentó 20,16 % de proteína, 2,19 de índice de expansión, 0,220 g/cm<sup>3</sup> densidad aparente y 9,31 N de dureza.

Los resultados del análisis químico proximal mostraron que la formulación óptima contiene 6,26% de humedad, 20,16% de proteína, 62,28% de carbohidratos, 6,17% de grasa, 3,20% de fibra cruda y 1,93% de ceniza.

El contenido de humedad de los extruidos correspondientes a la formulación óptima es baja. Según Rehal *et al.* (2017), el contenido de humedad es el factor más importante tanto en la elaboración del bocadito extruido como en el almacenamiento, considerándose como seguro un contenido de humedad por debajo del 10 % con el fin de evitar cualquier crecimiento microbiano. Rehal *et al.* (2017) evaluaron bocaditos extruidos comerciales, encontrando que el contenido de proteína se encontraba en el

rango de 2,8 a 9,2 %; el contenido de grasa se encontró entre 3,15 al 35,7 % y el contenido de carbohidratos varió de 4,0 a 70,9 %. Los rangos del contenido de grasa y carbohidratos incluyen a los valores del bocadito extruido de formulación óptima, pero el rango del contenido de proteína está por debajo del contenido de proteína de la formulación óptima.

**Figura 6.** Zona de formulación factible.

### 3.5 Digestibilidad y valor biológico de la fórmula óptima

Los resultados de las pruebas biológicas de digestibilidad verdadera y valor biológico verdadero del bocadito con formulación óptima fueron 83,5 % y 62,9 %, respectivamente. Si bien la formulación óptima estaba compuesta por una mezcla de leguminosa y grano andino, es decir, tendría una mejor complementación aminoacídica y en consecuencia, mayor valor biológico verdadero que un cereal. El valor biológico verdadero de la formulación óptima es menor al valor que encontraron Maseta *et al.* (2017) para el valor biológico verdadero del maíz extruido. Maseta *et al.* (2017) reportaron que la digestibilidad verdadera y el valor biológico verdadero de maíz extruido fueron 63,60 % y 68,54 %, respectivamente. La diferencia en el valor biológico verdadero puede deberse a las temperaturas del proceso de extrusión, debido a que la temperatura máxima a la que fue extruido el maíz fue de 130 °C, mientras que la temperatura máxima de extrusión de la formulación óptima fue de 150 °C. Por el contrario, las altas temperaturas parecen mejorar la digestibilidad.

### 4. Conclusiones

Se elaboró un bocadito extruido a base de harina de quinua, harina de tarwi y fécula de camote, cuyos porcentajes de incorporación en la mezcla óptima fueron: 57 %, 26 % y 17 %, respectivamente. Dicha formulación presentó 20,16 % de proteína, 2,19 de índice de expansión, 0,220 g/cm<sup>3</sup> de densidad aparente y 9,31 N de dureza. Respecto a las pruebas biológicas, la digestibilidad verdadera fue 83,5 % y el valor biológico verdadero fue 62,9 %. Por su contenido en proteína y calidad proteica, el bocadito extruido de formulación óptima es una buena opción para formar parte de las loncheras escolares.

### Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero de INNOVATE PERÚ (Convenio N° 333 - FIDECOM - InnovatePeruPIMEN – 2015), y el apoyo de Vida Óptima del Perú E.I.R.L.

### Referencias bibliográficas

- Abegunde, O.K.; Mu, T.H.; Chen, J.W.; Deng, F.M. 2013. Physicochemical characterization of sweet potato starches popularly used in Chinese starch industry. *Food Hydrocolloids* 33(2): 169-177.
- Abugoch, L.E.; Romero, N.; Tapia, C.A.; Silva, J.; Rivera, M. 2008. Study of some physicochemical and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd*) protein isolates. *Journal of Agricultural and Food chemistry* 56(12): 4745-4750.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2005. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. 18th ed. Gaithersburg, MD, USA.
- Camarena, F.; Huaranga, A.; Jiménez, J.; Mostacero, E. 2012. Revalorización de un cultivo subutilizado: Chocho o tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet). Primera Edición. Editorial CONCYTEC. Lima, Perú. 222 pp.
- Carvajal-Larenas, F.E.; Linnemann, A.R.; Nout, M.J.R.; Koziol, M.; Van Boekel, M. J.A.S. 2016. *Lupinus mutabilis*: Composition, Uses, Toxicology and Debitting. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 56(9): 1454-1487.
- Carvajal-Larenas, F.E.; Van Boekel, M.J.A.S.; Koziol, M.; Nout, M.J.R.; Linnemann, A.R. 2014. Effect of Processing on the Diffusion of Alkaloids and Quality of *Lupinus mutabilis* Sweet. *Journal of Food Processing and Preservation* 38(4): 1461–1471.
- Coutinho, L.; Batista, J.; Caliar, M.; Soares, M. 2013. Optimization of extrusion variables for the production of snacks from by-products of rice and soybean. *Food Science and Technology (Campinas)* 33(4): 705-712.
- Deshpande, H.; Poshadri, A. 2011. Physical and sensory characteristics of extruded snacks prepared from Foxtail millet based composite flours. *International Food Research Journal* 18(2):751-756.
- Gutiérrez, A.; Infantes, M.; Pascual, G.; Zamora, J. 2016. Evaluación de los factores en el desamargado de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet). *Agroindustrial Science* 6(1): 145-149.
- Kowalski, R.J.; Medina-Meza, I. G.; Thapa, B. B.; Murphy, K. M.; Ganjyal, G.M. 2016. Extrusion processing characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) var. Cherry Vanilla. *Journal of Cereal Science* 70: 91-98.
- Mäkilä, L.; Laaksonen, O.; Ramos Diaz, J. M.; Vahvaselkä, M.; Myllymäki, O.; Lehtomäki, I.; Kallio, H. 2014. Exploiting blackcurrant juice press residue in extruded snacks. *LWT - Food Science and Technology* 57(2): 618-627.
- Maseta, E.; Mosh, T.; Nyaruhucha, C.; Laswai, H. 2017. Nutritional quality of quality protein maize-based supplementary foods. *Nutrition & Food Science* 47(1): 42-52.
- Obradović, V.; Babić, J.; Šubarić, D.; Jozinović, A.; Aćkar, Đ. 2015. Physico-chemical properties of corn extrudates enriched with tomato powder and ascorbic acid. *Chemical and biochemical engineering quarterly* 29(3): 325-342.
- Oliveira, C.T.; Gutierrez, É.M.R.; Caliar, M.; Monteiro, M.R.P.; Labanca, R.A.; Carreira, R.L. 2015. Development and Characterization of Extruded Broken Rice and Lupine (*Lupinus albus*). *American Journal of Plant Sciences* 6(12): 1928-1936.
- Potter, R.; Stojceska, V.; Plunkett, A. 2013. The use of fruit powders in extruded snacks suitable for Children's diets. *LWT - Food Science and Technology* 51(2): 537-544.

- Quispe, D. 2015. Composición nutricional de diez genotipos de lupino (*L. mutabilis* y *L. albus*) desamargados por proceso acuoso. Tesis para optar el Grado de Magíster Scientiae en Tecnología de Alimentos. Lima, Perú. UNALM. 215 pp.
- Ramos, J.; Sundarajan, L.; Kariluoto, S.; Lampi, A.; Tenitz, S.; Jouppila, K. 2017. Partial Least Squares Regression Modeling of Physical and Chemical Properties of Corn-Based Snacks Containing Kaniwa and Lupine. *Journal of Food Process Engineering* 40(2): n/a.
- Ravindran, G.; Carr, A.; Hardacre, A. 2011. A comparative study of the effects of three galactomannans on the functionality of extruded pea–rice blends. *Food Chemistry* 124(4): 1620-1626.
- Reeves, P.G.; Nielsen, F.H.; Fahey G.C. 1993. AIN-93 purified diets for laboratory rodents: final report of the American Institute of Nutrition Ad Hoc writing committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet. *Journal of Nutrition* 123(11):1939–1951.
- Rehal, J.; Kaur, G.; Kaur, A.; Singh, A. 2017. Comparative Evaluation of Different Attributes of the Existing Extruded Snacks. *Journal of Krishi Vigyan* 5(2): 15-21.
- Reyes, M.; Gómez-Sánchez, I.; Espinoza, C.; Bravo, F.; Ganoza, L. 2009. Tablas peruanas de composición de alimentos. Instituto Nacional de Salud. Octava edición. Lima, Perú. 64 pp.
- Riaz, M.; Rokey, G. 2012. Extrusion problems solved: Food, pet food and feed. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition: Number 226. Cambridge, UK, Woodhead Publishing. 154 p.
- Shirani, G.; Ganesharane, R. 2009. Extruded products with Fenugreek (*Trigonella foenum-graecium*) chickpea and rice: Physical properties, sensory acceptability and glycaemic index. *Journal of Food Engineering* 90(1): 44-52.
- Singh, S.; Gamlath, S.; Wakeling, L. 2007. Nutritional aspects of food extrusion: a review. *International Journal of Food Science & Technology* 42: 916–929.
- Srichuwong, S.; Jane, J.L. 2007. Physicochemical properties of starch affected by molecular composition and structures: a review. *Food Science and Biotechnology* 16(5): 663-674.
- The Nielsen Company. 2014. Snack attack what consumers are reaching for around the world. Nielsen Global Snacking Survey. Disponible en: <http://www.nielsen.com/content/dam/niensenglobal/kr/docs/global-report/2014/Nielsen%20Global%20Snacking%20Report%20September%202014.pdf>
- Wang, S.; Nie, S.; Zhu, F. 2016. Chemical constituents and health effects of sweet potato. *Food Research International* 89: 90-116.
- Yang, S.H.; Peng, J.; Lui, W.B.; Lin, J. 2008. Effects of adlay species and rice flour ratio on the physicochemical properties and texture characteristic of adlay-based extrudates. *Journal of Food Engineering* 84(3): 489-494.